

# LA INFLUENCIA DE LOS PRINCIPALES MODOS DE VARIABILIDAD INTERANUAL EN LA DEMANDA ENERGÉTICA DOMÉSTICA

Guiomar SÁNCHEZ LÓPEZ<sup>1</sup>, María José ORTIZ BEVIÁ<sup>1</sup>, Francisco José ÁLVAREZ GARCÍA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Grupo de FÍSICA DEL CLIMA, Departamento de Física, Universidad de Alcalá*  
guiomarus@gmail.com, mjose.ortiz@uah.es, franciscoj.alvarez@uah.es

## RESUMEN

En este trabajo caracterizamos la demanda energética doméstica en término de grados-día de calentamiento y enfriamiento. Los principales modos climáticos que influyen en la variabilidad interanual en la Península Ibérica son El Niño-La Oscilación del Sur y la Oscilación del Atlántico Norte. Determinamos aquí si existe una influencia significativa de estos modos sobre los índices mensuales de calentamiento o enfriamiento que sirven para calcular los grados-días. Para estimar estos índices se utilizan observaciones meteorológicas diarias en 32 observatorios de la Península Ibérica en el periodo 1958-2005. Aplicamos una prueba estadística de rango para determinar si existe una dependencia significativa en la fase de la NAO, en la fase de ENSO, y si hay interacción en la influencia de estos dos modos.

**Palabras clave:** Variabilidad Interanual, Grados Días, Península Ibérica.

## ABSTRACT

In the present study we characterize the domestic energy demand in terms of heating and cooling degree-days. The principal climate modes that influence the interannual variability of the Iberian Peninsula are the El Niño-the Southern Oscillation and the North Atlantic Oscillation. We determine here the influence that those modes have on the mensural heating and cooling climate indices used in the computation of the degree-days. Those indices are estimated from daily temperature data at 32 meteorological stations at the Iberian Peninsula, for the period 1958-2005. We use a rank statistical test to determine if there is a significant influence of the NAO phase, or of the ENSO phase on those indices. We also test if there is some interaction between the influence of the climate modes.

**Key words:** Interannual Variability, Degree days, Iberian Peninsula.

## 1. INTRODUCCIÓN

Diversos estudios han establecido la influencia de las variables meteorológicas en la demanda energética doméstica. La correlación entre los estimadores basados en variables meteorológicas y el consumo doméstico de energía llega a alcanzar valores de hasta 0.9 (QUAYLE y DIAZ, 1979). Este consumo depende además de factores económicos y socioeconómicos. Pero para USA por ejemplo los estimadores basados en variables meteorológicas pueden explicar hasta un 53 % de la demanda doméstica (ENERGY

INFORMATION ADMINISTRATION, 2004).

La demanda energética doméstica está muy condicionada por las necesidades de acondicionamiento (calentamiento o enfriamiento) de los hogares. La variable que controla esencialmente estas necesidades de calentamiento o enfriamiento es la temperatura diaria, mientras que otras variables físicas relacionadas con el tiempo (humedad, insolación, viento, etc.) juegan un papel menor (ENGLE *et al.*, 1992). Por ello es razonable tomar un índice climático basado en la temperatura como estimación de la demanda energética.

En esta estimación, se separan las dos funciones de acondicionamiento en dos índices, el índice de grados-día de calentamiento y el índice de grados-día de enfriamiento (LE COMTE y WARREN, 1981; QUAYLE y DIAZ, 1980): En un caso se considera sólo el defecto de grados de temperatura con respecto a una temperatura de confort, y en el otro caso, sólo el exceso. En la determinación de esta temperatura de confort es posible introducir efectos no lineales, de acuerdo con la demanda energética (VALOR *et al.*, 2001), aunque de forma simplista, se puede tomar igual a 18°C. Para comparar con datos reales de demanda energética, que están disponibles solo como totales nacionales, estos índices climáticos de calentamiento o enfriamiento se pesan con los ratios de la población que experimenta esas temperaturas.

El trabajo de VALOR *et al.* (2001) es pionero en el estudio de la relación entre demanda energética doméstica y los índices de grados-día de calentamiento o enfriamiento. Este estudio utiliza datos de cuatro estaciones (Madrid, Valencia, Sevilla y Bilbao) que corresponden a cuatro climatologías fundamentales de España y también a áreas muy pobladas. El estudio abarca el periodo 1983-1999, para el que los datos de la demanda eléctrica del proyecto OMEL de Red Eléctrica Española estaban disponibles, y los datos de la población se calculan como un promedio a los valores del censo de ese periodo. Un trabajo reciente de ORTIZ BEVIÁ *et al.* (2008), relaciona las tendencias en la evolución de los grados-días con las tendencias de los índices climáticos y las de los ratios de población.

Los principales modos climáticos de variabilidad que influyen sobre las temperaturas de la Península Ibérica son la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y el Niño-La Oscilación del Sur (ENSO). Esta influencia es muy estacional. La de la NAO es la más importante, sobre todo en invierno, tanto sobre los valores medios mensuales (CASTRO-DIAZ *et al.*, 2002) como sobre los extremos (véase por ejemplo PRIETO *et al.*, 2002; para el caso de Madrid). La influencia de la NAO sobre las temperaturas máximas y mínimas presenta rasgos contrapuestos: mientras que la correlación de la NAO con la media mensual de las temperaturas máximas es robusta, y positiva, la correlación con la media de las temperaturas mínimas es más débil y negativa (TRIGO *et al.*, 2002).

La influencia de ENSO sobre la temperatura se deja sentir sobre todo en la primavera y otoño (FRAEDRICH, 1994), pero también en invierno (POZO-VAZQUEZ *et al.*, 2001). Es por tanto razonable esperar que esta dependencia de las variables climáticas mensuales se traslade a los grados días de calentamiento o de enfriamiento. Tal dependencia, en caso de probarse, permitiría formular pronósticos para la demanda energética doméstica a partir de pronósticos para el estado de ENSO o de la NAO. Por ejemplo, el Grupo de Física del Clima de la Universidad de Alcalá dispone de métodos empíricos para la predicción de los índices (RUIZ DE ELVIRA Y ORTIZ BEVIÁ, 1995; SANCHEZ-GÓMEZ y ORTIZ BEVIÁ, 2003).

En el presente trabajo se utiliza una prueba estadística sobre los índices de calentamiento o

enfriamiento empleados en el cálculo de los grados-días para determinar si esta dependencia en los principales modos de variabilidad climática de la Península Ibérica es o no significativa. Las características de los datos, de la metodología utilizada para su preparación y de la prueba estadística aplicada se detallan en la sección 2. Los resultados se exponen en la sección 3 y se resumen y discuten en la sección 4.

## 2. DATOS Y METODOLOGÍA

### 2.1. Datos

Los índices de temperatura se han calculado a partir de las medias diarias de esta variable, obtenidas a partir de los valores máximos y mínimos diarios de estaciones meteorológicas seleccionadas, una por provincia, por todo el territorio español. Las observaciones fueron suministradas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) española. Se seleccionaron las estaciones que suministraban una cobertura con menos de un 4 % de ausencias en el dato diario, durante el período del reanálisis ERA (1958-2004). La localización de las estaciones aparece representada en nuestra figura 1 de ORTIZ BEVIÁ *et al.* (2008).

El estado de los modos normales de variabilidad se caracteriza por los valores mensuales de dos índices, el índice de la Oscilación del Sur (SOI) para ENSO, y el índice de la NAO para la Oscilación del Atlántico Norte. El índice SOI utilizado aquí se define como la diferencia de presiones mensuales normalizadas entre Tahití y Darwin (ROPELEWSKI y JONES, 1987), y está disponible en [www.cru.ac.uk/~timo/datapages](http://www.cru.ac.uk/~timo/datapages). El índice de la NAO se calcula como la diferencia de presiones mensuales normalizadas entre el SO de Islandia (Reykjavik) y Gibraltar (JONES, 1997), y está disponible en la misma dirección.

Para el cálculo de los índices grado-día los valores diarios ausentes se rellenan por un procedimiento de interpolación basado en la descomposición en valores singulares (SVD) de la matriz regional de correlación.

### 2.2. Definición de grados-días

A partir de estos datos se calculan los índices grados-día de calentamiento o enfriamiento. Para cada estación  $j$  y cada año  $i$  se calcula un índice de calentamiento  $H_{ij}$  como:

$$H_{ij} = \sum_k (T_c - T_{kij}) H(T_c - T_{kij})$$

Donde  $T_{kij}$  es la media diaria del día  $k$  del año  $i$  en la estación  $j$ , y  $T_c$  es una temperatura de confort, en la que se estima que la demanda energética es despreciable. Esta temperatura se toma en el presente trabajo como  $T_c = 18^\circ\text{C}$ .  $H(s)$  es la función escalón, que vale 1 para valores  $s > 0$ , y 0 para  $s \leq 0$ . Como la influencia de los modos atmosféricos de gran escala es marcadamente estacional, en este caso no se promedia a todos los meses del año, sino que se calculan índices mensuales. Es decir, la  $\sum_k$  promedia a todos los días de cada mes, para todos los comprendidos entre Agosto (mes 8) del año  $(i-1)$  y Julio (mes 7) del año  $i$ .

Igualmente, tendremos para el índice de enfriamiento:

$$C_{ij} = \sum_k (T_{kij} - T_c) H(T_{kij} - T_c)$$

y ahora la  $\sum_k$  promedia a todos los días de cada mes, para todos los meses del año  $i$ .

El índice grados-día de calentamiento se calcula como la media ponderada por el ratio de

población  $w_{ij}$  de estos índices calculados a partir de la temperatura.

$$w_{ij} = p_{ij}/P_t$$

donde  $p_{ij}$  es la población de la provincia  $j$  en el año  $i$  y  $P_t$  es la población total considerada, de forma que el índice de grados-día de calentamiento vendrá dado por

$$HDD_i = \sum_j H_{ij} w_{ij}$$

Y para los grados días de enfriamiento tendremos

$$CDD_i = \sum_j C_{ij} w_{ij}$$

Como los grados-días presentan tendencia, se estima la tendencia mensual, y se corrige en la serie mensual correspondiente.

### 2.3. Prueba estadística

Utilizamos una prueba estadística de rango (WILCOXON, 1945) punto a punto (para cada estación meteorológica). Se trata de una prueba estadística robusta (no paramétrica) para determinar si puede considerarse que no existen diferencias entre la mediana del índices de calentamiento (o enfriamiento) para los meses de una determinada estación (por ejemplo invierno) bajo condiciones anómalas positivas de un modo (por ejemplo NAO) y la mediana del mismo índice bajo condiciones anómalas negativas. La condición para identificar como anómalo el estado de los modos es que el valor absoluto de las anomalías mensuales de los índices de los modos de variabilidad excedan el umbral de 1 desviación típica. Para investigar posibles interacciones, se separan los meses con NAO positiva, y de ellos se segregan por un lado aquellos en que el SOI es positivo (que corresponden a eventos Niña), y por otro los meses en que el SOI es negativo (que corresponden a eventos Niño), y se prueba si existen diferencias significativas entre estos dos grupos.

Las estaciones climatológicas se toman como invierno (Diciembre, Enero y Febrero), primavera (Marzo, Abril y Mayo), verano (Junio, Julio y Agosto) y otoño (Septiembre, Octubre y Noviembre). La salida del paquete estadístico empleado (MATLAB) es la probabilidad de acertar aceptando la hipótesis nula. Esta información se ha conservado en las figuras de los resultados, aunque, en buena práctica estadística, los comentarios se referirán siempre a un nivel de confianza fijo (el 95 % de riesgo en la aceptación).

## 3. RESULTADOS

Los resultados de la prueba estadística sobre la dependencia de los índices de calentamiento/enfriamiento con respecto a la NAO se presentan en la figura 1. En la columna izquierda se muestran los resultados para los índices de calentamiento: fila superior, en invierno(a), fila intermedia primavera (b), fila inferior otoño(c). En la columna derecha de la Figura 1 se muestran los resultados para los índices de enfriamiento: fila superior verano (d), fila intermedia primavera (e) y fila inferior otoño (f). Vemos que, en invierno, para los índices de calentamiento, en 13 de los 32 observatorios la diferencia entre las medianas para las distintas fases de la NAO es significativa al 95 %: En estos observatorios, la mediana de los inviernos con NAO positiva está entre 45 y 110 grados-día por encima de la mediana de los inviernos con NAO negativa. En otoño, para los índices de calentamiento, la significancia se da en 11 de las estaciones. En estas estaciones, la mediana de los inviernos con NAO positiva está entre 23 y 60 grados días por debajo de la mediana de los inviernos con NAO negativa. La prueba no encuentra que la influencia de la NAO en primavera sea significativa. La influencia de la NAO en los grados días de enfriamiento sólo es significativa (al nivel requerido) en un observatorio y sólo en primavera.

Los resultados de la prueba con respecto a ENSO se presentan en la Figura 2. Los índices de calentamiento no muestran dependencia significativa al nivel requerido, aunque alguna de las localidades sea 'casi' significativa al 90 % en otoño. Para los índices de enfriamiento hay puntualmente dependencia significativa, tanto en primavera como en verano. En invierno, se roza la significancia en dos observatorios.

Los resultados de la prueba de interacción NAO-ENSO se presentan en la Figura 3. La prueba señala que para SOI positivo (Niña), existen diferencias significativas entre los años de NAO negativa y los de NAO positiva, sólo para la cuarta parte de los observatorios en los grados día de calentamiento en invierno.

#### **4. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN**

Los estimadores de la parte de la demanda energética doméstica debida a condiciones meteorológicas (grados-día de calentamiento y enfriamiento) utilizan índices de calentamiento e índices de enfriamiento contruidos a partir de las temperaturas medias diarias de estaciones de observación en la región. Estudios anteriores han puesto de manifiesto la dependencia de las observaciones de temperatura de la península respecto a la principal señal climática del Atlántico Norte, la NAO, y respecto de la señal climática global más importante, ENSO. También han demostrado la naturaleza estacional de esta dependencia. En este trabajo ponemos de manifiesto la dependencia de dichos índices con respecto a la fase de ENSO, o a la fase de la NAO. También se prueba si en alguna circunstancia existe interacción entre la influencia de estos modos.

Como en el caso de las temperaturas medias mensuales, la mayor influencia detectada es la que la NAO ejerce sobre los índices de calentamiento en invierno y otoño. La prueba estadística demuestra que esta influencia es significativa al 95 % en algo menos del 50 % de los observatorios considerados.

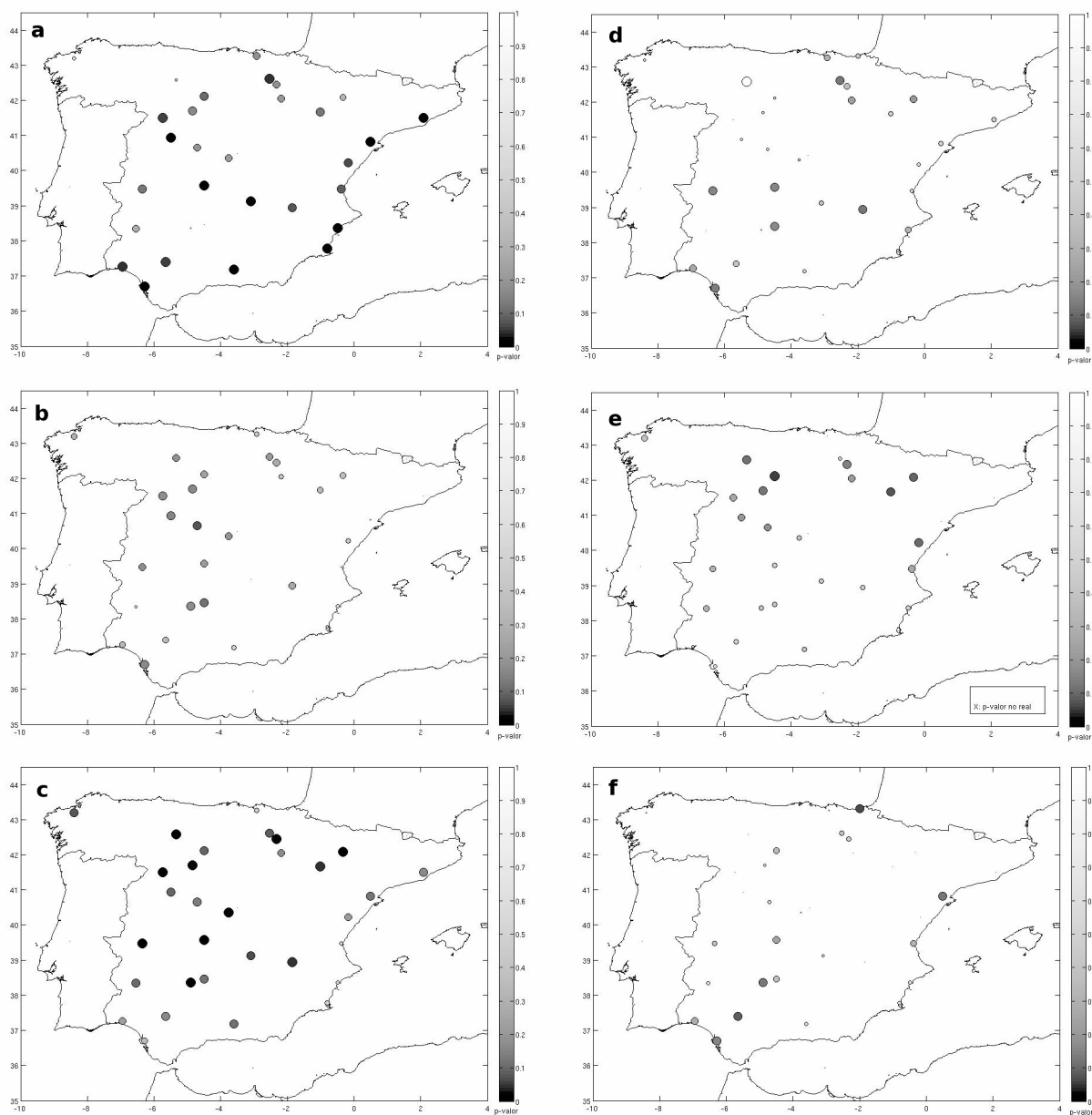


Figura 1: Nivel de confianza de la aceptación de la hipótesis nula en la comparación de las medianas de los meses con NAO positiva frente aquellos en que la NAO está en fase negativa. En la columna de la izquierda, grados días de calentamiento: arriba invierno (a), en medio primavera (b), abajo otoño (c). En la columna de la derecha, grados-días de enfriamiento: arriba verano (d), en medio primavera (e), abajo otoño (f).

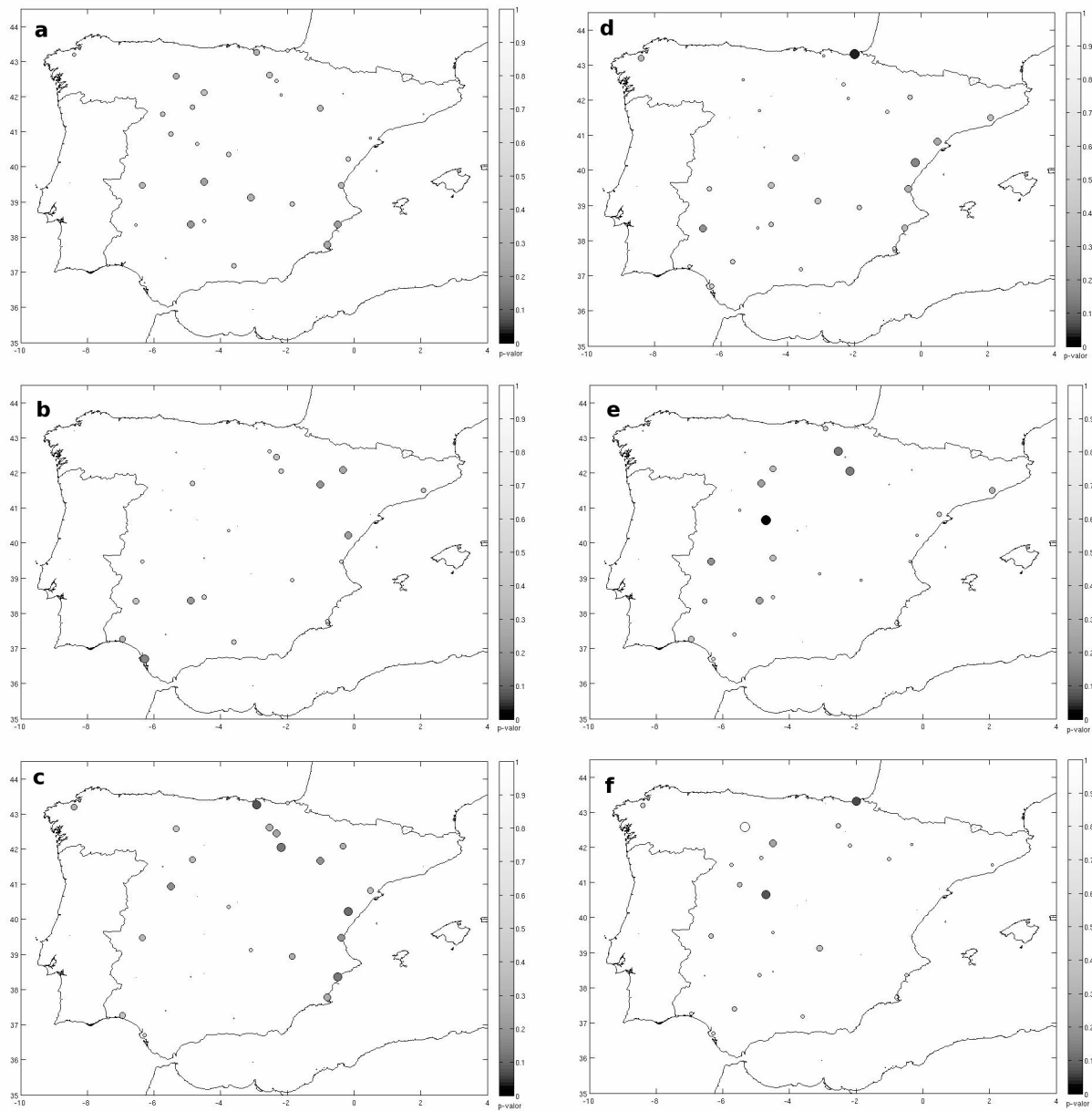


Figura 2: Nivel de confianza de la aceptación de la hipótesis nula en la comparación de las medianas de los meses con SOI positivo (Niña) frente aquellos en que el SOI está en fase negativa (Niño). En la columna de la izquierda, grados días de calentamiento: arriba invierno (a), en medio primavera (b), abajo otoño (c). En la columna de la derecha, grados-días de enfriamiento: arriba verano (d), en medio (e) primavera, abajo otoño (f).

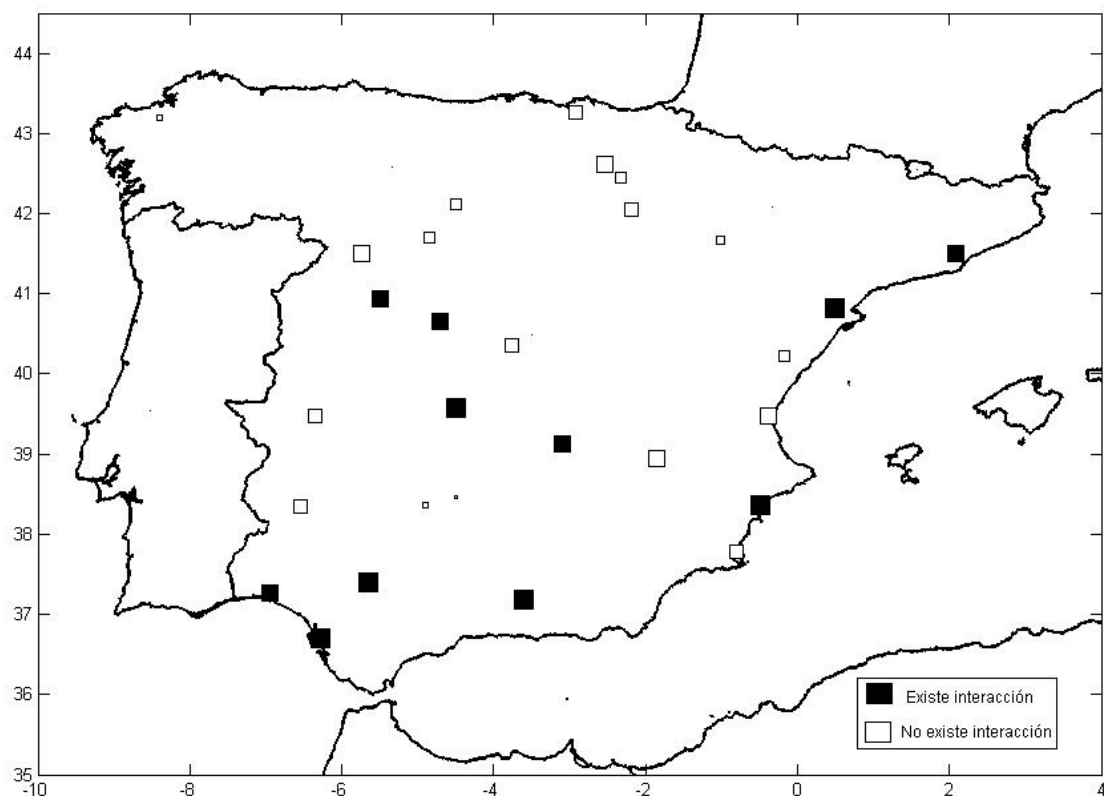


Figura 3: Se dibujan con cuadrados los observatorios en que se ha encontrado interacción significativa entre ENSO y NAO para lo grados día de calentamiento en invierno.

El carácter puntual de la prueba estadística utilizada limita ciertamente las conclusiones de este estudio (aunque esto sea práctica común en muchos trabajos de este área) pero la extensión regional de los resultados parece indicar que los resultados serían también significativos con una prueba estadística multivariada, a menor nivel de significación (90 %).

Una conclusión importante de este estudio es que la demanda energética será menor en los otoños en que la NAO esté en fase positiva, y será mayor en los inviernos en que la NAO esté en esa misma situación. Esto es explicable si consideramos la relación que las medias mensuales de temperatura mínima y máxima tienen con la NAO. En los otoños, la mayor contribución al índice de calentamiento es nocturna. Aunque en condiciones de NAO positiva las pérdidas por radiación del suelo son más elevadas, la inercia térmica del mismo (aún muy caliente) amortiguará el descenso de las temperaturas nocturnas, y por otro lado, la ausencia de nubosidad durante el día permitirá el restablecimiento de la energía térmica almacenada en este. Por otro lado, en invierno las pérdidas por radiación no se ven compensadas por la insolación, y la demanda energética en condiciones de NAO positiva será mayor que en condiciones de NAO negativa.

En el caso de ENSO, sólo en otoño y en los observatorios de influencia mediterránea, se roza la significancia (90 %), aunque con un nivel de significación inferior al elegido para nuestra prueba.

## 5. AGRADECIMIENTOS



Agradecemos a la AEMET la cesión de los datos para la realización de este estudio. Este estudio está financiado parcialmente por el proyecto CIRCE (CGL-036961) de la Unión Europea.

## 6. REFERENCIAS

- D' AMATO, A.; RUTH, M.; KIRSHEN, P. y HORWITH, J. (2005). "Regional Energy Demand Responses to Climate Change". *Climatic Change*, 7, pp.171-201.
- ENGLE, R.; MUSTAFA, C. y RICE, J. (1992). "Modeling Peak Electricity Demand". *J of Forecasting*, 11, pp.241-251.
- FRAEDRICH, K. (1994). "An ENSO impact on Europe? A review". *Tellus*, 46A, pp.541-552.
- JONES, P.D.; JONSSON, T. y WHEELER (1997). "Extension of the North Atlantic Oscillation Index using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland". *Int. J. Climatol*, 17, pp.1433-1450.
- LECOMTE, D. M. y WARREN, H.E. (1981). "Modeling the impact of summer temperature on national electricity consumption". *J. Appl. Meteorol*, 20, pp. 1415-1419.
- MORON, V. y PLAUT, G. (2003). "The impact of El Niño-Southern Oscillation upon weather regimes over Europe and the North Atlantic during boreal Winter". *Int. J. Climatol*, 23, pp.363-379.
- ORTIZ BEVIÁ, M.J.; LOPEZ-BREA, M. C. y PEREZ-GONZALEZ, I. (2008). *Evolución de la demanda energética en la España Mediterránea basada en grados-días de calentamiento y enfriamiento*. En Cambio Climático Regional y sus Impactos, publicaciones de la AEC, 2008.
- POZO-VAZQUEZ, D.; ESTEBAN PARRA, M.J.; RODRIGO, F.S. y CASTRO-DIEZ, Y. (2001). "A study of NAO variability and its possible non-linear influence on European surface temperature". *Climate Dynamics*, 17, pp.70-715.
- POZO-VAZQUEZ, D.; ESTEBAN PARRA, M.J.; RODRIGO, F. S. y CASTRO-DIEZ, Y. (2001). "The association between ENSO and winter atmospheric circulation and temperature in the North Atlantic". *J Climate*, 14, pp. 3408-3420.
- PRIETO, L.; R., GARCIA; DÍAZ, J.; HERNANDEZ, E. y DEL TESO, T. (2002). "NAO influence on extreme winter temperature in Madrid (Spain)". *Annales Geophysicae*, 20, pp. 2077-2085.
- QUAYLE, E. y DIAZ, H. (1979). "Heating degree-day data applies to residential heating energy consumption". *J. Appl. Meteorol*, 19, pp. 241-246.
- ROPELEWSKI y JONES, P.D. (1987). "An extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation Index". *Mon. Wea. Rev.*, 115, pp. 2161-2165.
- RUIZ DE ELVIRA, A. y ORTIZ BEVIÁ, M.J. (1995). "Application of statistical techniques to the analysis and prediction of ENSO bayesian Oscillation Patterns as a Prediction Scheme". *Dyn. Atmos. Oceans*, 22, pp. 91-114.
- SANCHEZ-GOMEZ, E. y ORTIZ BEVIÁ, M.J. (2002). *Estimación de la evolución pluviométrica de la España seca atendiendo a diversos pronósticos empíricos de la NAO*. En El Agua y El Clima,, publicaciones de la AEC.
- TRIGO, R.M.; OSBORN, T.J. y CORTE-REAL J.M. (2002). "The North Atlantic Oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms". *Clim. Res.*, 20, pp. 9-17.
- VALOR, E; MENEU, V. y CASELLES, V. (2001). "Daily air temperature and electricity load in Spain". *J Appl. Meteor.*, 408, pp. 1413-1421.
- WILCOXON, F. (1945). "Individual comparisons by ranking methods", *Biometrika*, 1, pp.

80-87.